

# CICLO SEMINARIOS RAMA 2014

**Fracción de lavado (FL) y  
salinidad de suelos: conceptos,  
limitaciones y aplicaciones**

**Ramón Aragüés**  
**Unidad de Suelos y Riegos**  
**(Unidad Asociada EEAD-CSIC)**  
**CITA-DGA**

**14 de febrero de 2014**

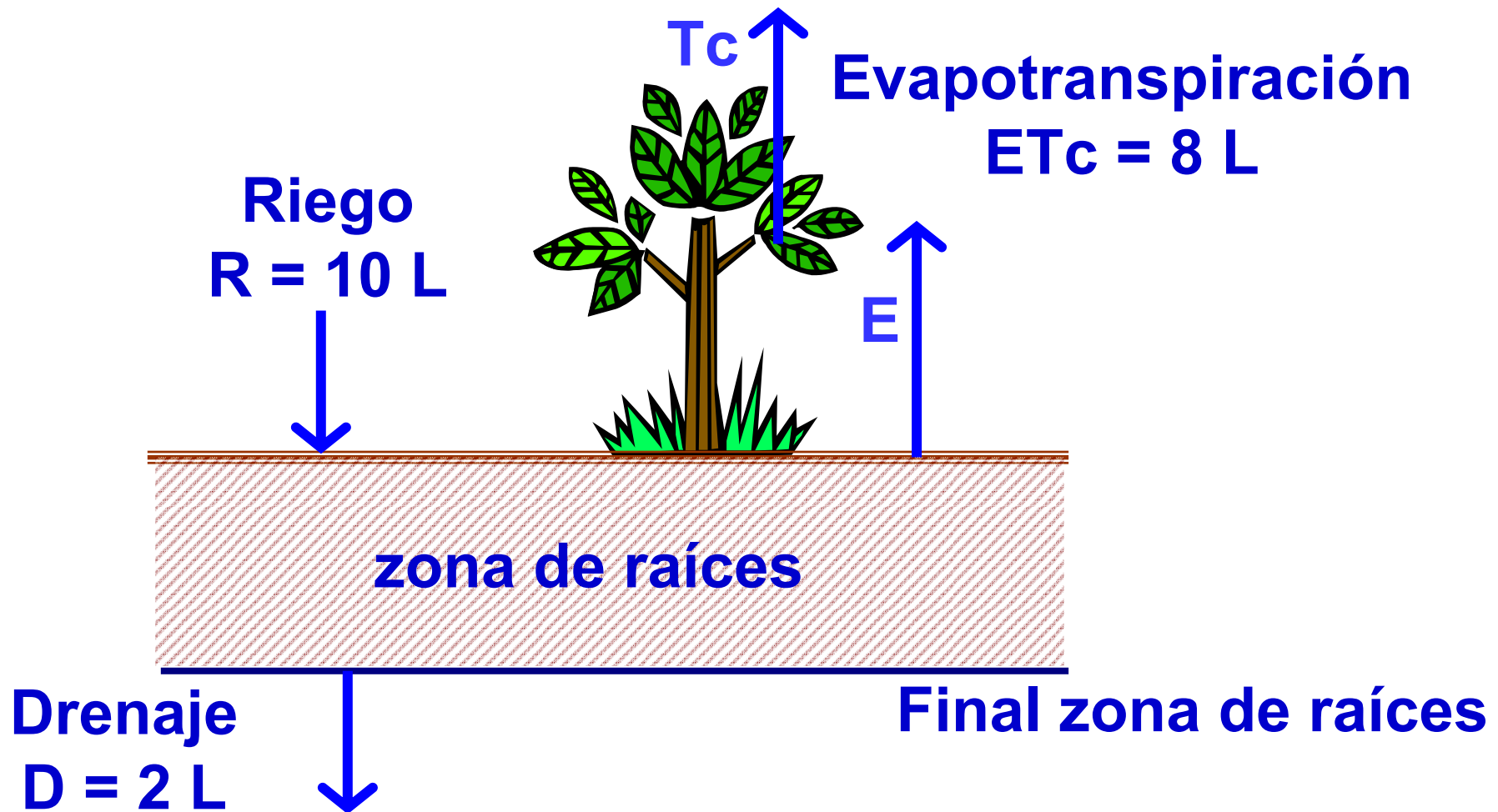
## Definición de FL

**“Fracción del volumen de agua infiltrada en el suelo que percola por debajo de la zona de raíces de los cultivos”**

**la FL se define en base a volúmenes de agua**

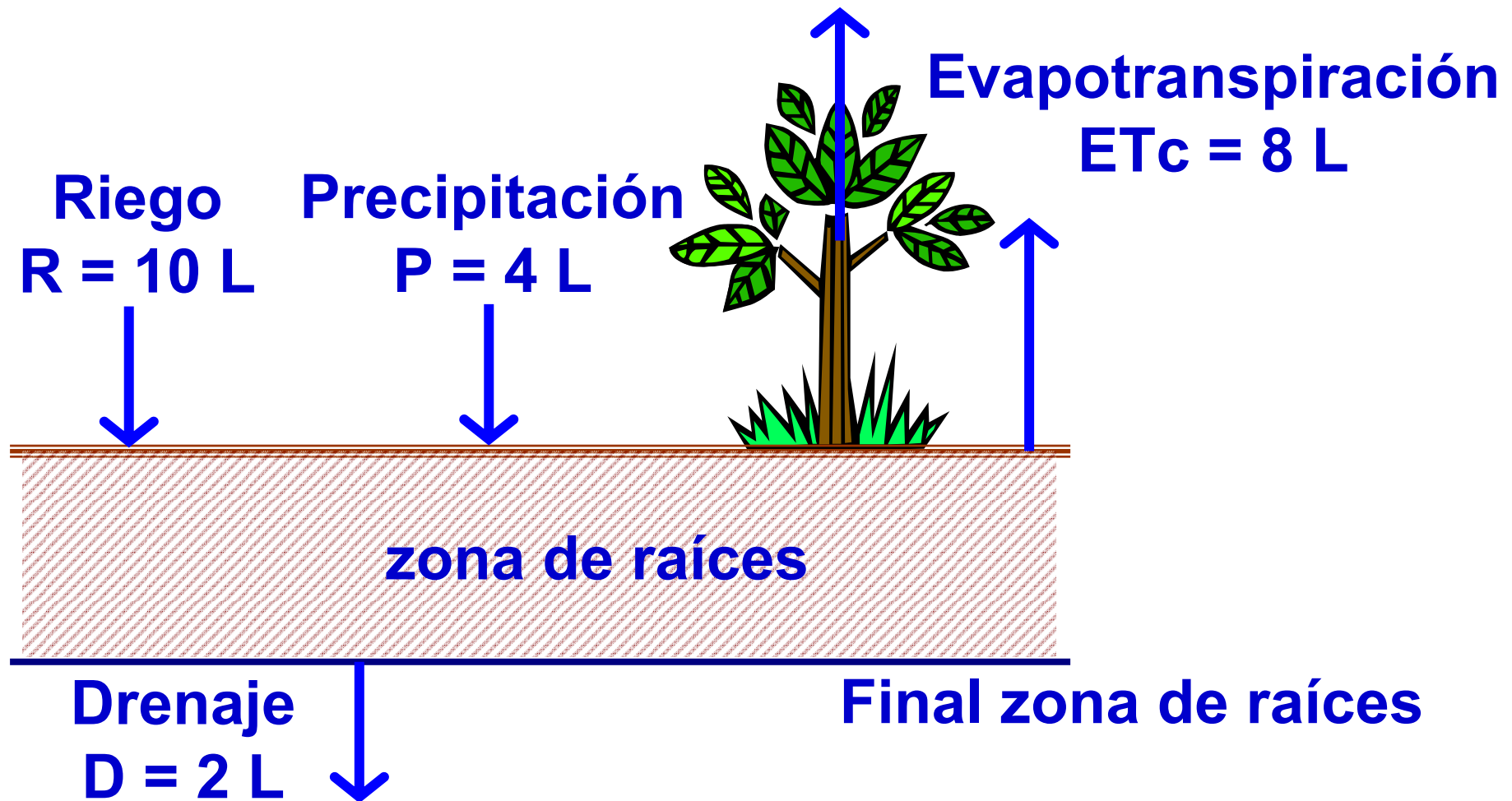
**Conceptualmente, la FL debería llamarse FD (fracción de drenaje)**

# EJEMPLO SIN PRECIPITACION



$$FL = D/R = 2/10 = 0.20$$

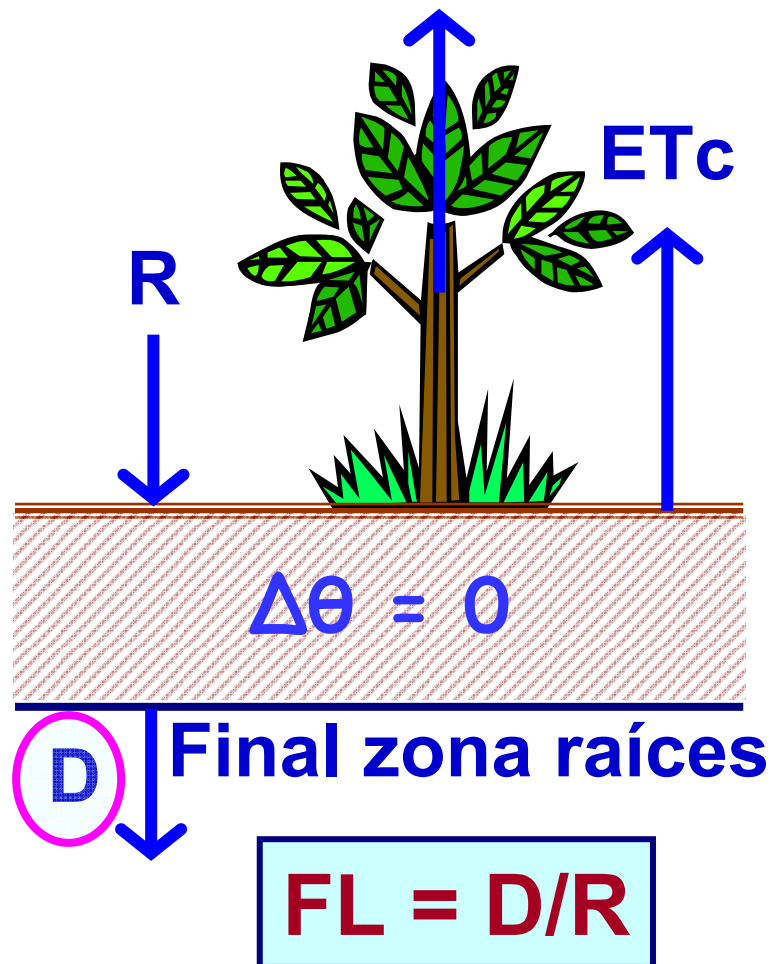
# EJEMPLO CON PRECIPITACION



$$FL = D/(R+P) = 2/(10+4) = 2/14 = 0.14$$

# PRIMER PROBLEMA

El drenaje (D) es imposible o muy difícil de medir en condiciones reales de campo



## ¿Solución?

Si la humedad del suelo ( $\theta$ ) es constante ( $\Delta\theta = 0$ )

$$\Rightarrow D = R - ET_c$$

$$FL = (R - ET_c)/R$$

Corolario: el concepto de FL solo es aplicable en sistemas con  $\theta$  en régimen permanente

## SEGUNDO PROBLEMA

$$FL = (R - ET_c)/R$$

- La  $ET_c$  es la real, no la máxima potencial calculada a partir de  $ET_o$  y  $K_c$ .
- La  $ET_c$  real es generalmente menor que la  $ET_c$  máxima debido a estreses bióticos y abióticos.
- La medida de la  $ET_c$  real es difícil, por lo que hay que estimarla...

Corolario: en condiciones reales de campo, la  $FL$  se estima, no se mide...

**¿EXISTEN OTRAS FORMAS DE  
ESTIMAR LA FL?**

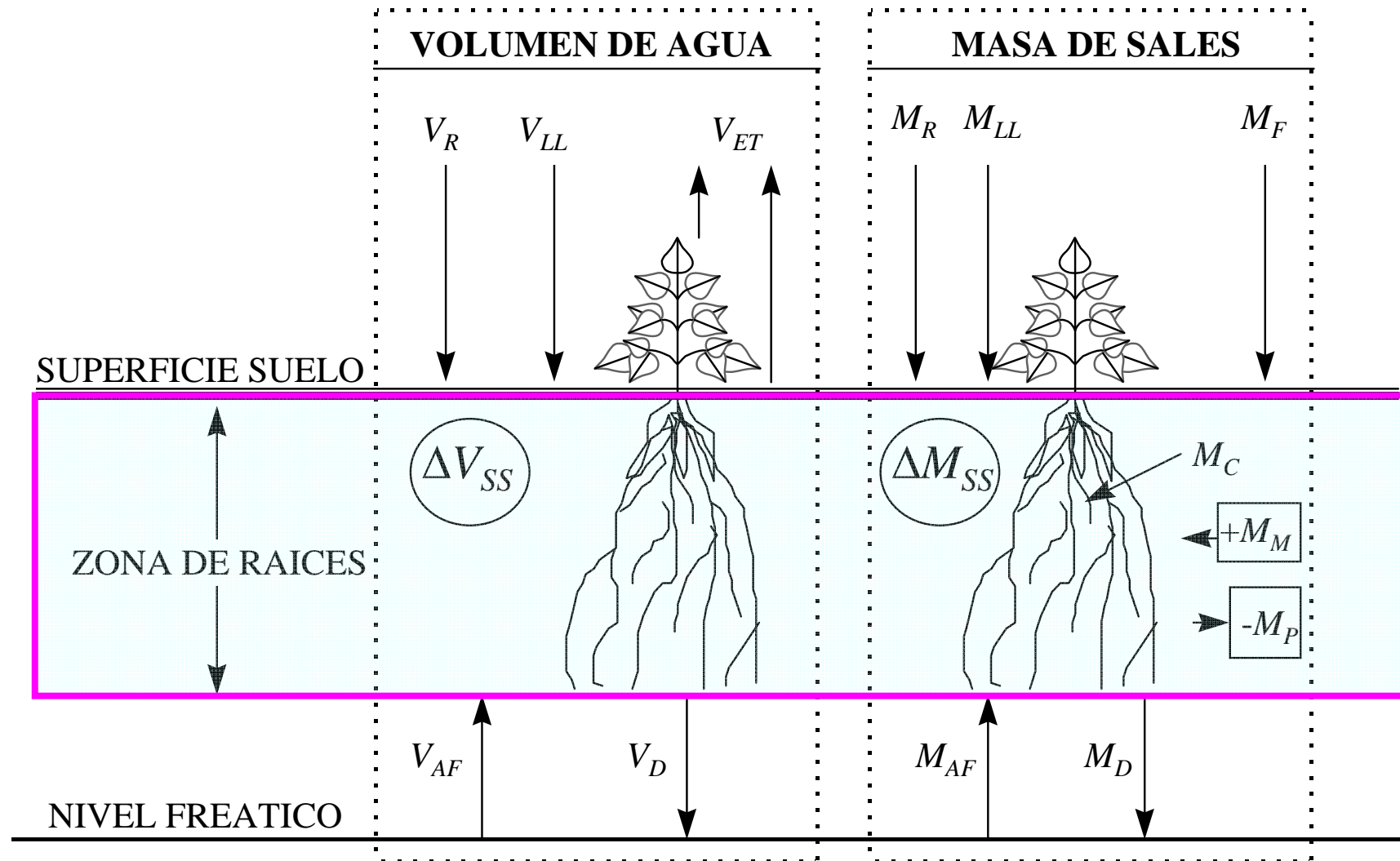
**¿QUÉ DICEN LOS LIBROS?**

$$FL = D/R = CE_R/CE_D$$

**¿Es cierta esta expresión?**

**La respuesta exige realizar un  
balance de agua y sales en la  
zona de raíces de los cultivos...**

# Balance hidrosalino en la zona de raíces de los cultivos



- Balance de agua:  $(V_R + V_{LL} + V_{AF}) - (V_{ET} + V_D) = \Delta V_{SS}$
- Balance de sales:  $(M_R + M_{LL} + M_{AF} + M_F + M_M) - (M_D + M_C + M_P) = \Delta M_{SS}$



## Balance de agua (BA) simplificado

- BA completo:  $(V_R + V_{LL} + V_{AF}) - (V_{ET} + V_D) = \Delta V_{SS}$
- BA simplificado y régimen permanente ( $\Delta V_{SS} = 0$ ):

$$V_R - (V_{ET} + V_D) = 0; V_D = V_R - V_{ET}$$

## Balance de sales (BS) simplificado

- BS completo:  $(M_R + M_{LL} + M_{AF} + M_F + M_M) - (M_D + M_C + M_P) = \Delta M_{SS}$

Masa  $M$  (g) = Volumen  $V$  (L) x Concentración  $C$  (g/L)

- BS simplificado y régimen permanente ( $\Delta M_{SS} = 0$ ):

$$M_R - M_D = 0; \quad V_R C_R - V_D C_D = 0$$

$$\text{si } C \approx CE: V_R CE_R - V_D CE_D = 0; V_R CE_R = V_D CE_D$$

$$FL = V_D/V_R = CE_R/CE_D$$

$$FL = \frac{D}{R} = \frac{CE_R}{CE_D}$$

**Esta expresión es solo cierta si:**

- 1. Hay régimen permanente de agua y sales**
- 2.  $C = CE$**
- 3. La única fuente de sales es el riego y el único sumidero de sales es el drenaje**
- 4. La precipitación (lluvia) es despreciable**

**Corolario: la FL tiene limitaciones y problemas que es preciso conocer**

# **PROBLEMAS...**

## **1. Régimen permanente de agua y sales**

**Situación infrecuente en la realidad. La FL no puede aplicarse a eventos individuales de riego (elevadas  $\Delta\theta$ ).**

**Mejor hacerlo a estaciones de riego o año hidrológico (donde  $\Delta\theta \approx 0$ )**

## **2. $C = CE$**

**Aproximación aceptable en aguas de salinidad baja. Pero para salinidades elevadas  $C > CE$  (formación de pares iónicos, etc.)**

## **PROBLEMAS...**

**3. La única fuente de sales es el riego y el único sumidero de sales es el drenaje**

**Principal limitación del concepto de FL. Todos los suelos áridos y semiáridos contienen minerales que disuelven sales y provocan que la  $CE_D$  sea mayor que la estrictamente derivada de la ecuación de FL.**

**Como  $FL = CE_R/CE_D$ , la estima de FL a partir de las CE infraestima la misma.**

**¿Cómo minimizar este problema? Utilizando en vez de CE, iones sin minerales en el suelo:**

$$FL = Cl^-_R/Cl^-_D; FL = Br^-_R/Br^-_D$$

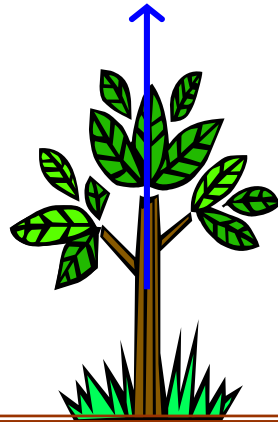
# EJEMPLO SIN/CON MINERALES EN EL SUELO

$$FL = D/R = CE_R/CE_D$$

SIN

$ET_c = 8 \text{ L}$

$R = 10 \text{ L}$   
 $CE_R = 2 \text{ dS/m}$



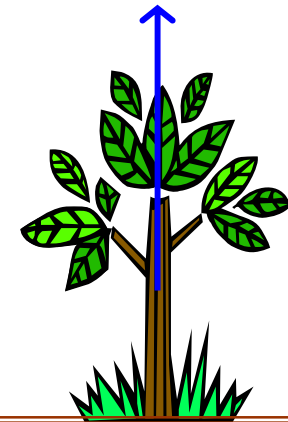
$D = 2 \text{ L}$   
 $CE_D = ?$

$FL = D/R = 2/10 = 0.20$   
 $CE_D = CE_R/FL = 2/0.20$   
 $CE_D = 10 \text{ dS/m}$

CON

$ET_c = 8 \text{ L}$

$R = 10 \text{ L}$   
 $CE_R = 2 \text{ dS/m}$



Yeso (solubilidad  $\approx 2 \text{ dS/m}$ )

$D = 2 \text{ L}$   
 $CE_D = 10 + 2 = 12 \text{ dS/m}$

Estima de FL a partir de CE:  
 $FL = CE_R/CE_D$   
 $FL = 2/12 = 0.17$

## PROBLEMAS...

### 4. La precipitación (lluvia) es despreciable

Excepto en zonas extremadamente áridas, la P es fundamental para el lavado de sales y debe incluirse en la ecuación de FL (aunque la variabilidad de la P no se tiene en cuenta...)

$$FL = D/(R+P) = CE_{R+P}/CE_D$$

$CE_{R+P}$  = media ponderada por el volumen

$$CE_{R+P} = (R \times CE_R + P \times CE_P)/(R + P)$$

## EJEMPLO

Estimar FL a partir de la siguiente información:

$R = 600 \text{ mm}$ ;  $P = 350 \text{ mm}$ ;  $CE_R = 1.0 \text{ dS/m}$ ;  $CE_P = 0.1 \text{ dS/m}$ ;  $CE_D = 3.3 \text{ dS/m}$

$$FL = CE_{R+P}/CE_D$$

$$CE_{R+P} = (R \times CE_R + P \times CE_P)/(R + P)$$

$$CE_{R+P} = (600 \times 1.0 + 350 \times 0.1)/(600 + 350) = 635/950 = 0.67 \text{ dS/m}$$

$$FL = CE_{R+P}/CE_D = 0.67/3.3 = 0.2$$

- ¿Cuál será el volumen de drenaje?

$$FL = D/R; D = FL \times R = 0.2 \times 600 = 120 \text{ mm}$$

# A MODO DE SÍNTESIS CONCEPTUAL

$$FL = D/R = (R - ET_c)/R = CE_R/CE_D$$

$$CE_D = CE_R \times (1/FL) = CE_R \times F_c$$

$$(1/FL) = ETCF \text{ (siglas en ingles)} = F_c$$

factor de concentración del agua de riego  
y sus sales en el suelo debido a la  $ET_c$

## CONCLUSIÓN

“Para una salinidad dada del agua de riego ( $CE_R$ ), la inversa de la fracción de lavado a la profundidad  $i$  ( $F_{c_i} = 1/FL_i$ ) determina la salinidad de la solución del suelo a dicha profundidad  $i$ ” ... *si todas las asunciones y simplificaciones efectuadas son aceptables*



- **A pesar de todas las limitaciones, la FL es importante porque permite estimar:**
  1. **La salinidad del agua de drenaje y de la solución del suelo**
  2. **La percolación profunda de agua y recarga de los acuíferos**
  3. **La sodicidad (RAS ajustado) de la solución del suelo a partir de un análisis del agua de riego**
  4. **La salinidad media de la zona de raíces de los cultivos y el análisis de la aptitud de la calidad (CE) del agua de riego**
  5. **Las necesidades de lavado de los cultivos**
  6. **Las tendencias de salinización del suelo**

**1. La salinidad del agua de drenaje y de la solución del suelo**

$$CE_{ss} = CE_R \times (1/FL)$$

**2. La percolación profunda de agua y recarga de los acuíferos**

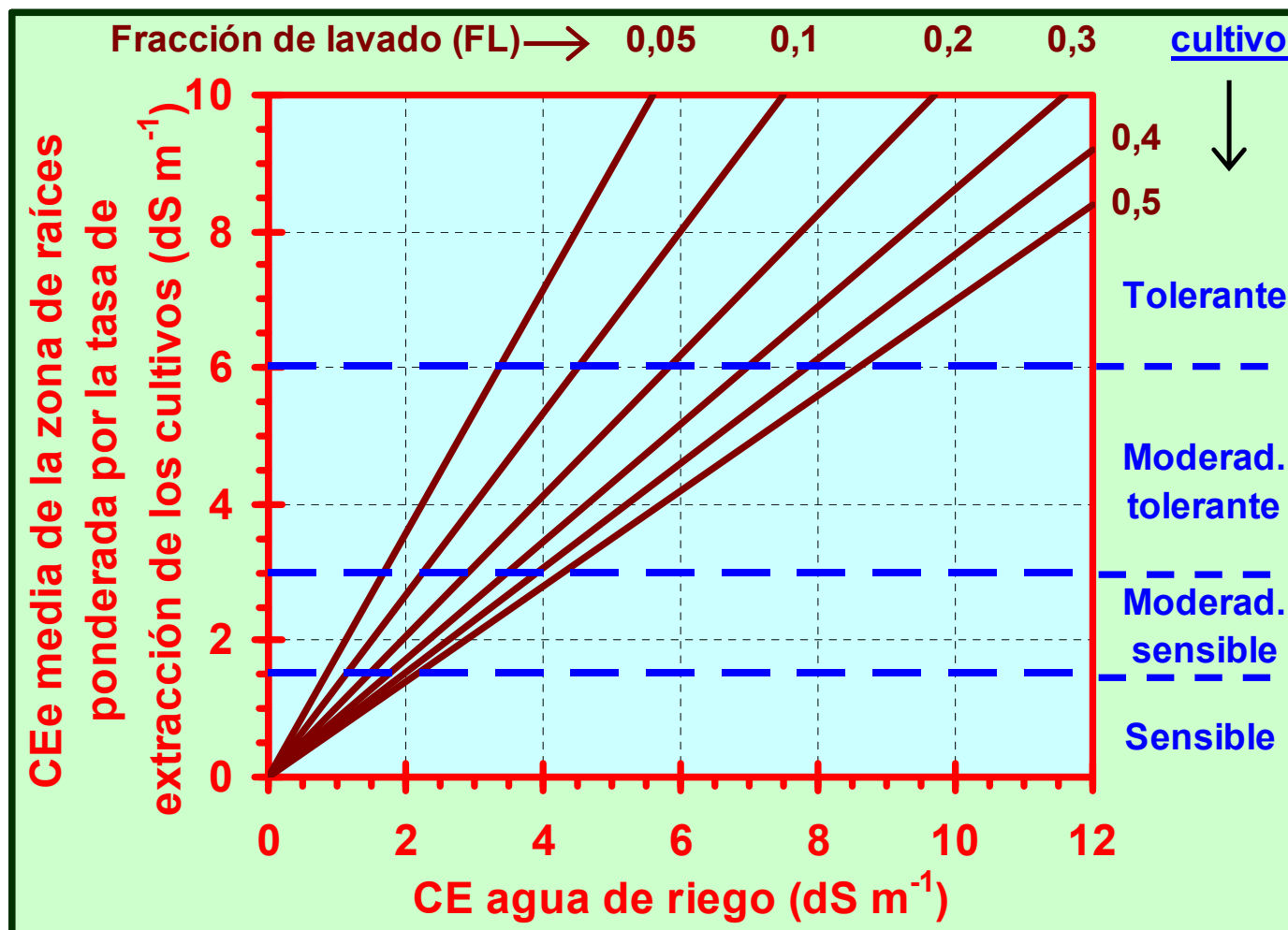
$$D = R \times FL$$

**3. La sodicidad ( $RAS_{ajustado}$ ) de la solución del suelo a partir de un análisis del agua de riego**

$$RAS_{aj} = Na \times Fc / [Mg \times Fc + 0.215 \times (PCO_2)^{1/3}]^{1/2}$$

  $1/FL$

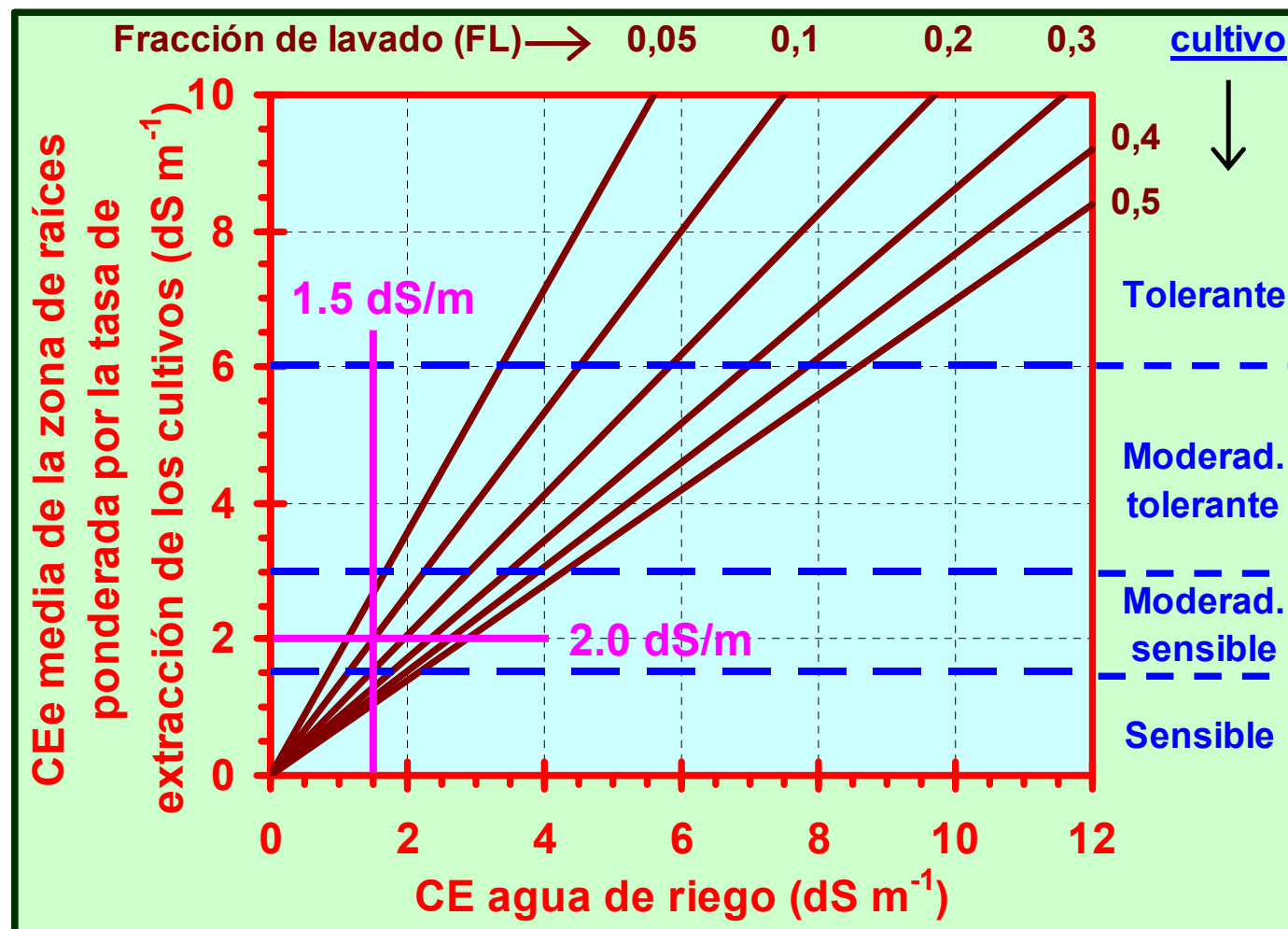
## 4. La salinidad media de la zona de raíces de los cultivos y el análisis de la aptitud de la calidad (CE) del agua de riego



1.  $CE_a + FL$   
↓  
estima  $CE_e$   
m.p. zona raíces
2.  $CE_e$  umbral  
>  $CE_e \Rightarrow$  agua apta para riego
3.  $CE_e$  umbral  
<  $CE_e \Rightarrow$  agua no apta para riego

**Ejemplo:** ¿puede regarse la alfalfa ( $CE_{eu} = 2.0 \text{ dS/m}$ ) con un agua de riego de  $1.5 \text{ dS/m}$ ?

**Respuesta:** depende de la FL. Puede regarse siempre que  $FL > 0.1$



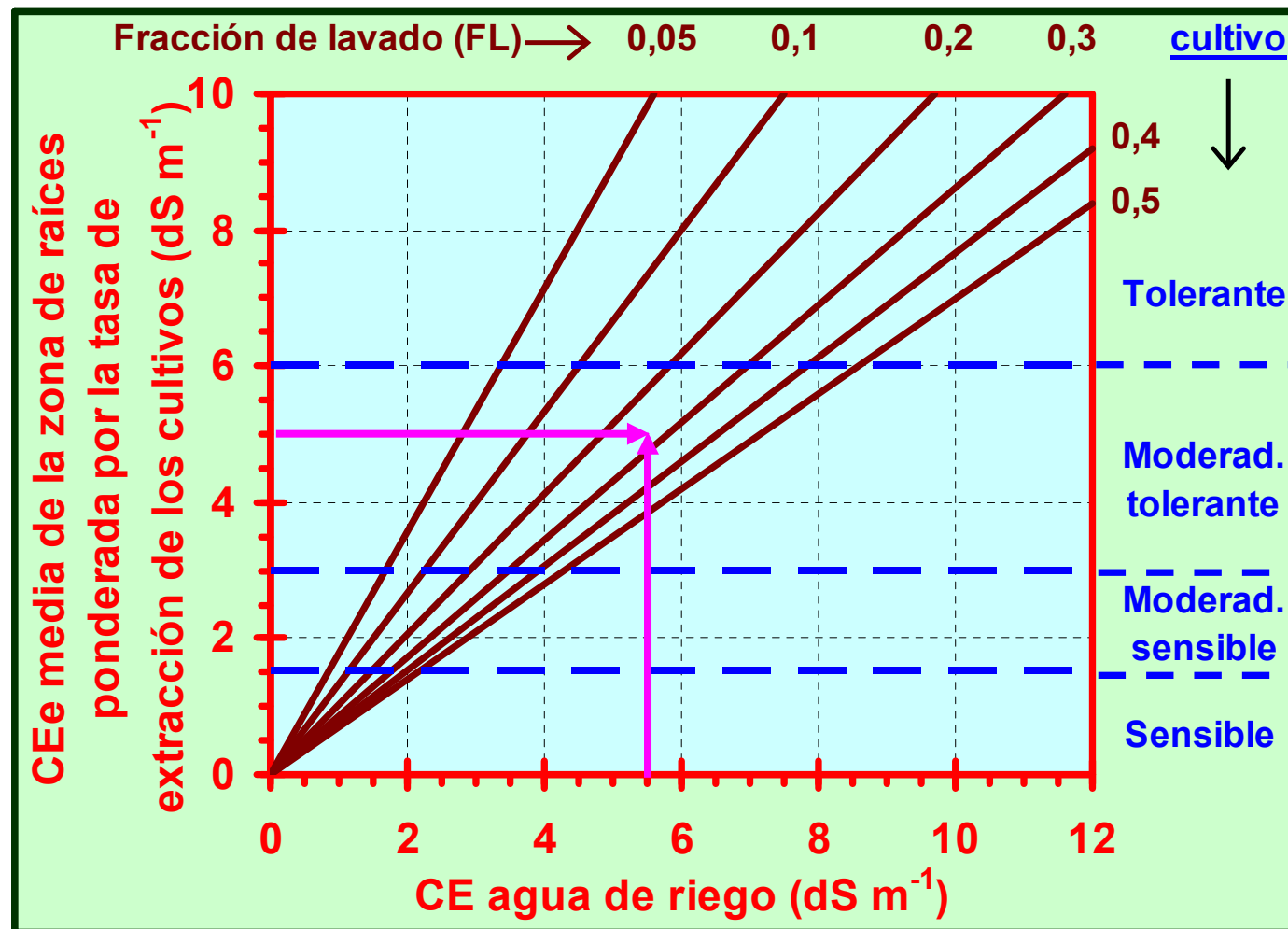
## **5. Las necesidades de lavado (NL) de los cultivos**

**NL: mínima FL necesaria para mantener la CEE de la zona de raíces por debajo del umbral de salinidad (CEeu) del cultivo**

$$\text{NL} = f(\text{CEar}, \text{CEeu}, \text{sistema de riego})$$

**Ejemplo:** ¿Cuál es la NL de la soja ( $CE_{eu} = 5$  dS/m) regada con un agua de 5.5 dS/m?

**Respuesta:** NL en torno a 0.3 o algo inferior



## **6. Las tendencias de salinización del suelo**

**Este era el motivo del seminario original...**

**Riego deficitario y salinización de suelos: ¿es sostenible bajo los distintos escenarios de cambio climático?**

**Respuesta:**

**depende, entre otras variables, de la FL**





## Salinización del suelo en RDC. Respuesta de la uva de mesa (2006-2010)



**CE agua riego = 1.7 dS/m**

**Finca Santa Bárbara, grupo ALM  
(Caspe, Zaragoza)**





# Salinización del suelo en RDC. Respuesta del melocotonero tardío (2008-2012)

CE agua riego = 1.2 dS/m

Finca Affrucas  
(Caspe, Zaragoza)







# Control de la salinización del suelo mediante su acolchado en nectarina (2010-2012)

CE agua riego = 1.2 dS/m



Geotextil



Plastico



Corteza pino



Suelo desnudo



Finca Affrucas  
(Caspe, Zaragoza)

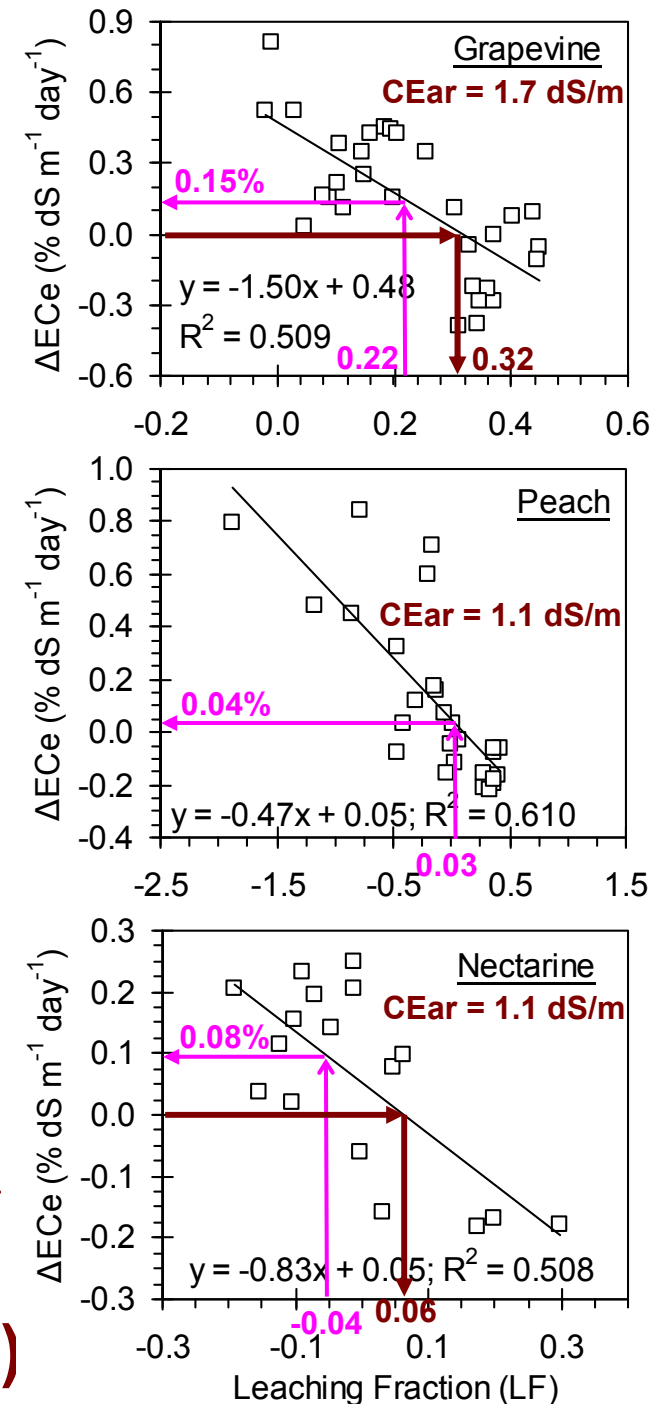
# Proyecto Rideco-Consolider

## Síntesis de resultados en uva de mesa, melocotón y nectarina

- $\Delta ECe$ : variación diaria relativa de la  $CEe$  en la zona de raíces en un período de tiempo dado
- LF: fracción de lavado calculada para ese periodo en base a:

$$LF = (R + P - ETc)/(R + P)$$

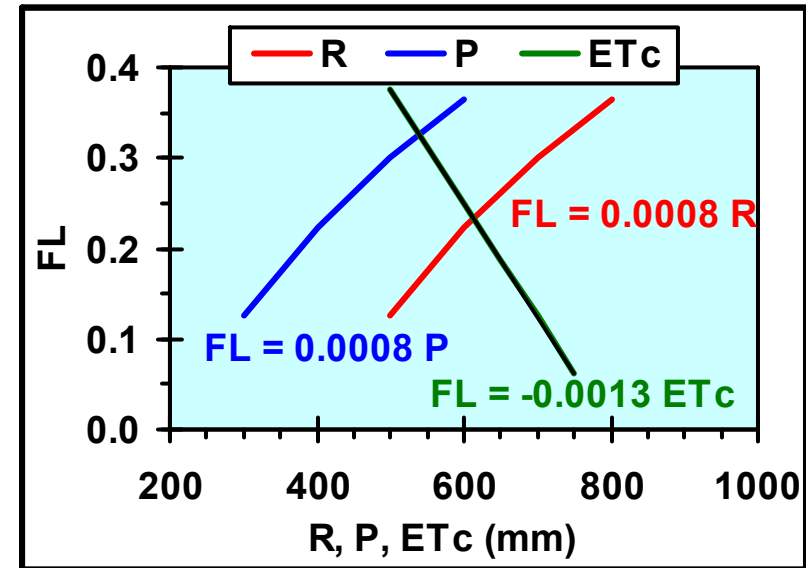
- Situación actual:
  - Salinización del suelo ( $\Delta ECe > 0$ ) moderada en uva, baja en nectarina y muy baja en melocotonero
  - Control de la salinidad ( $\Delta ECe = 0$ )  $\Rightarrow$  aumentar la LF hasta = 0.32 (uva), 0.11 (melocotonero), 0.06 (nectarina)



## ¿Cómo podemos aumentar la FL?

$$FL = (R + P - ETc)/(R + P)$$

1. Aumentar R
2. Aumentar P
3. Disminuir ETc



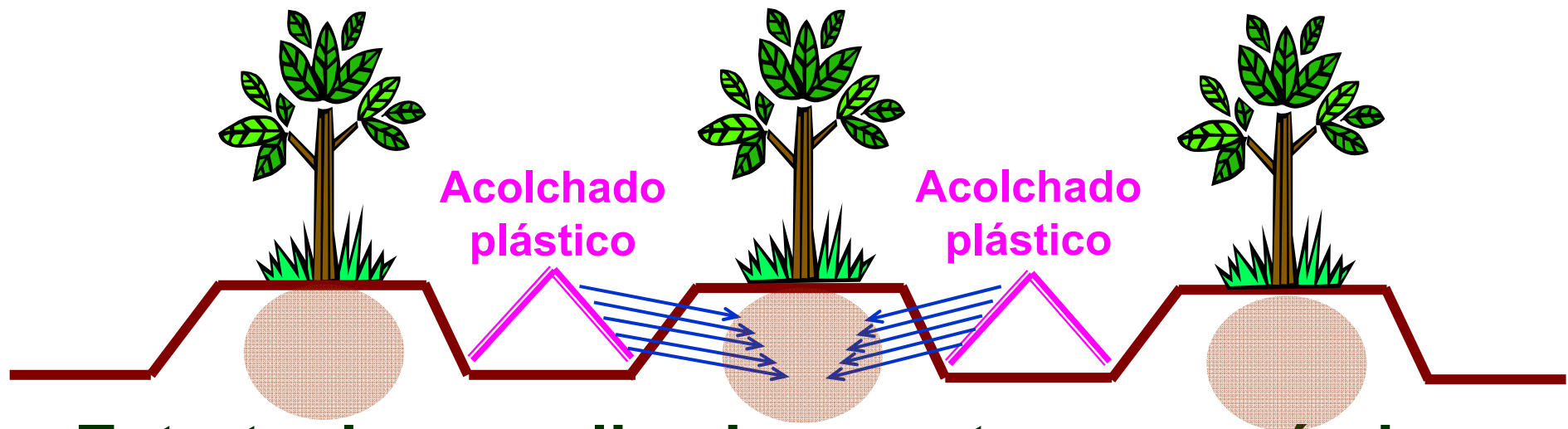
### 1. Aumentar R

- Práctica contraria al riego deficitario (aunque el aumento de R podría hacerse en la estación de no riego).
- Problemas medioambientales (incremento de los retornos de riego).
- Agua de riego crecientemente limitada.



## 2. Aumentar P en la zona de raíces ¿Cómo?

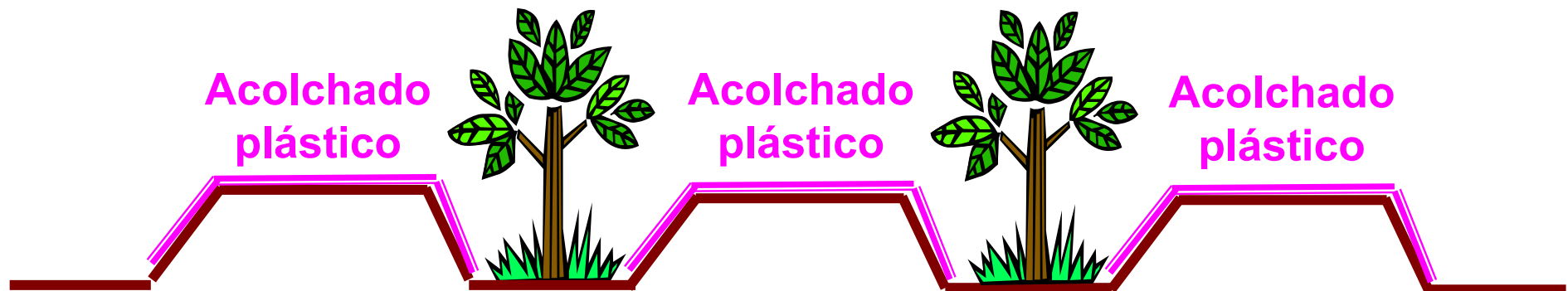
- Cosechado de la lluvia (“rain harvesting”) dirigiéndola hacia la zona de raíces.
- Práctica histórica en el secano.
- En cultivos en hileras regados por goteo podría conseguirse mediante el acolchado diferencial del suelo en las calles o surcos.



- Estrategia complicada y costosa económica y ambientalmente

**Stevens et al. (2013). Changes in vineyard floor management reduce the Na and Cl concentrations in wine grapes grown with saline supplementary drip irrigation. AWM 129:130-137.**

- **Viñedo Chardonnay;  $CE_{ar} = 2.3$  dS/m;  $P > 400$  mm**
- **Cosechado de la lluvia: recolocación de los caballones en las calles y acolchado de los mismos con plástico.**
- **Esta estrategia redujo la salinidad de la zona de raíces en un 48% respecto al tratamiento control.**



### **3. Disminuir ETc (Tc: transpiración de los cultivos+E: evaporación del agua del suelo)**

- **3.1. Disminuir Tc ¿Cómo sin que afecte al rendimiento?: aumentando la eficiencia en el uso del agua (kg cosechados/m<sup>3</sup> de ETc), mediante mejora genética (¿?), o mediante riego deficitario (RD).**

- **RD: aplicación de agua por debajo de las necesidades del cultivo en períodos en los que no es sensible a estrés hídrico y se mantiene el rendimiento.**

- **Hay distintos tipos de riego deficitario: regulado, sostenido, alternante, etc.**

### **3. Disminuir ETc (Tc: transpiración de los cultivos+E: evaporación del agua del suelo)**

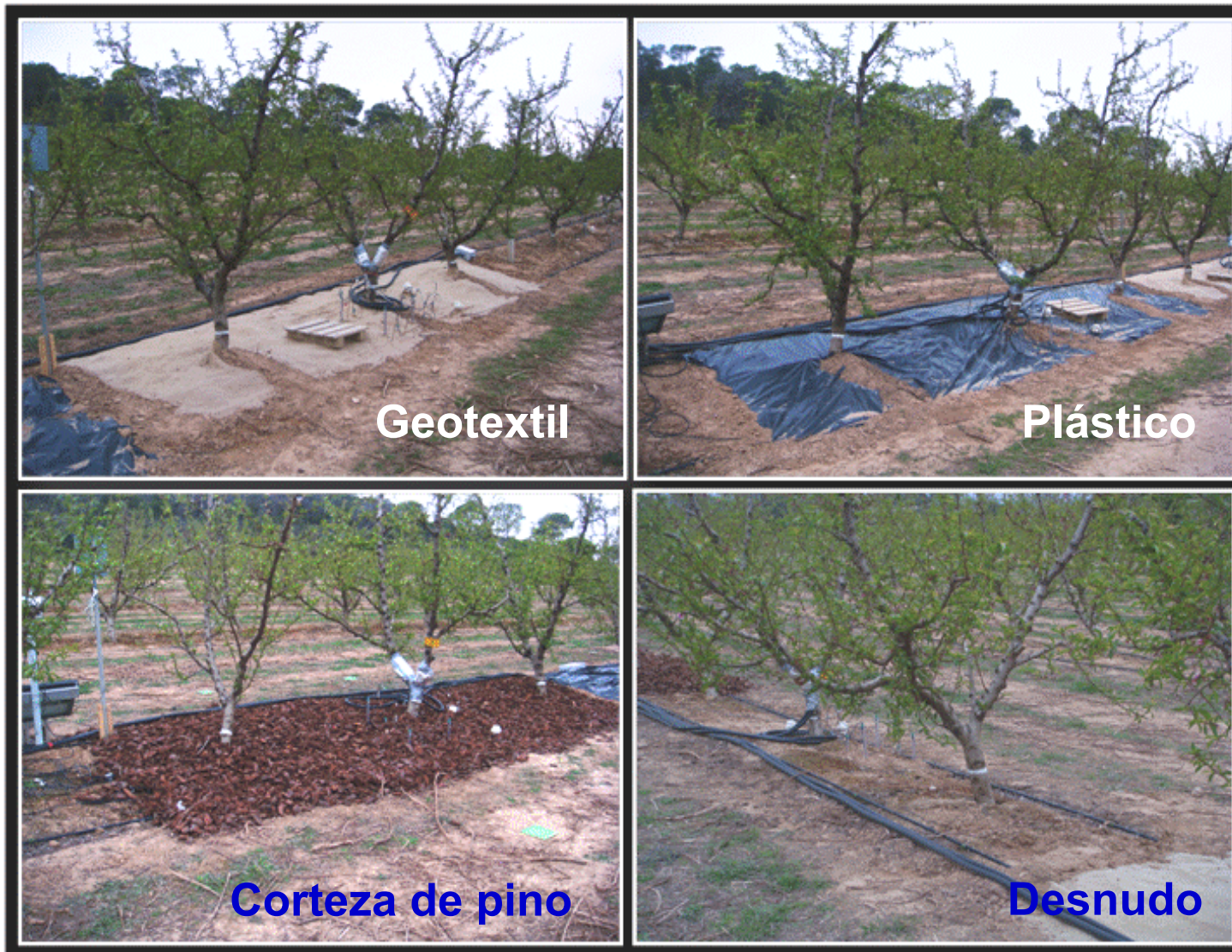
- **3.2. Disminuir E** mediante el acolchado del suelo. Pero este acolchado debe permitir la infiltración de la lluvia en la zona de raíces de los cultivos, razón por la que el plástico no es recomendable en zonas donde la lluvia es relevante.
- Los trabajos realizados en la tesis de Wided Zribi indican que el acolchado del suelo con residuos de poda puede reducir E en un 50% respecto al suelo desnudo.



# Efectos del acolchado sobre distintos parámetros del suelo y de la nectarina

W. Zribi, Tesis doctoral

## Tratamientos de acolchado

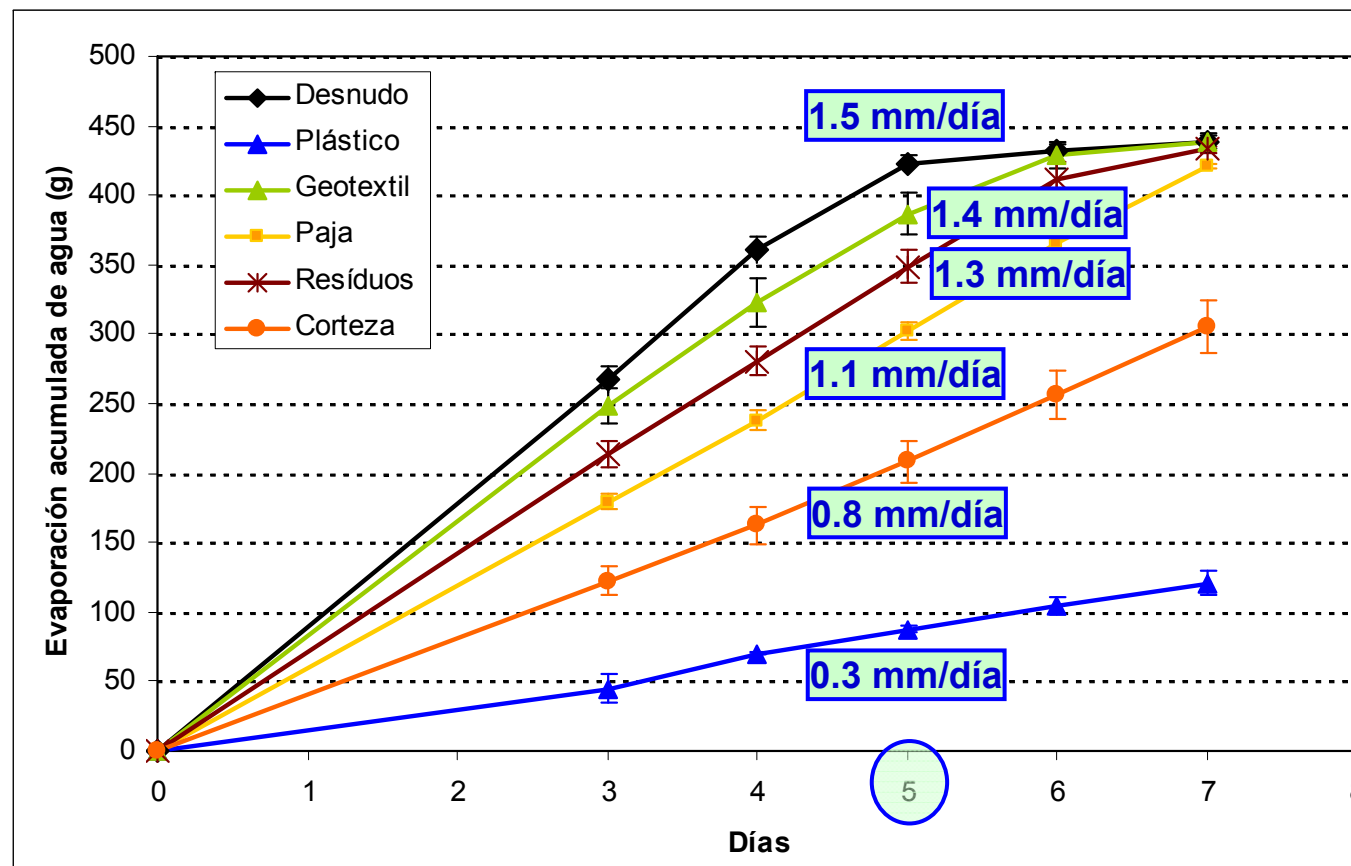


# Efectos del acolchado sobre la evaporación del suelo: laboratorio

W. Zribi, Tesis doctoral

**Evolución temporal de la evaporación acumulada de un suelo húmedo sujeto a distintos tratamientos de acolchado.**

**Resultados para el día 5:**



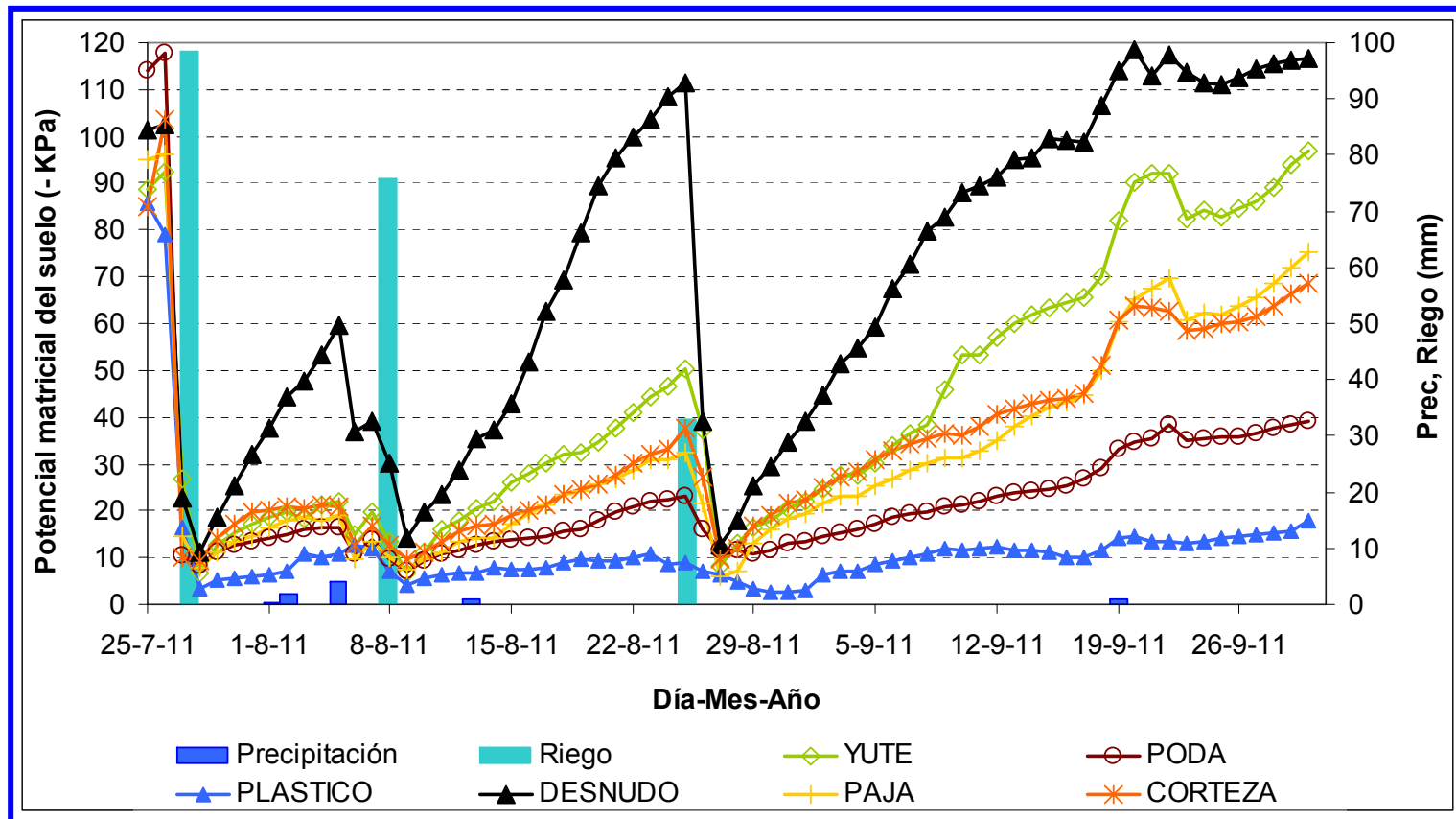
% descenso evaporación → 7%



# Efectos del acolchado sobre la evaporación del suelo: campo-miniparcelas

W. Zribi, Tesis doctoral

Precipitación, dosis de riego en los tres ciclos de riego y  
evolución diaria del  $\Psi_m$  en los seis tratamientos de acolchados



Orden decreciente de evaporación (promedio 3 ciclos de riego)

Desn.  $\geq$  Geotex.  $\geq$  Cort. pino = Paja trigo  $\geq$  Residuos poda  $\geq$  Plás.

# La disminución de E reduce la salinización del suelo, pero es ambiente-dependiente y la P juega un papel esencial

Cambio relativo de CEe (%) entre el muestreo final e inicial en las estaciones de riego de 2010, 2011 y 2012			
	2010	2011	2012
Desnudo	21	61	-28
Geotextil	47	33	0
Corteza	12	17	-34
Plástico	44	22	-11



**P alta**

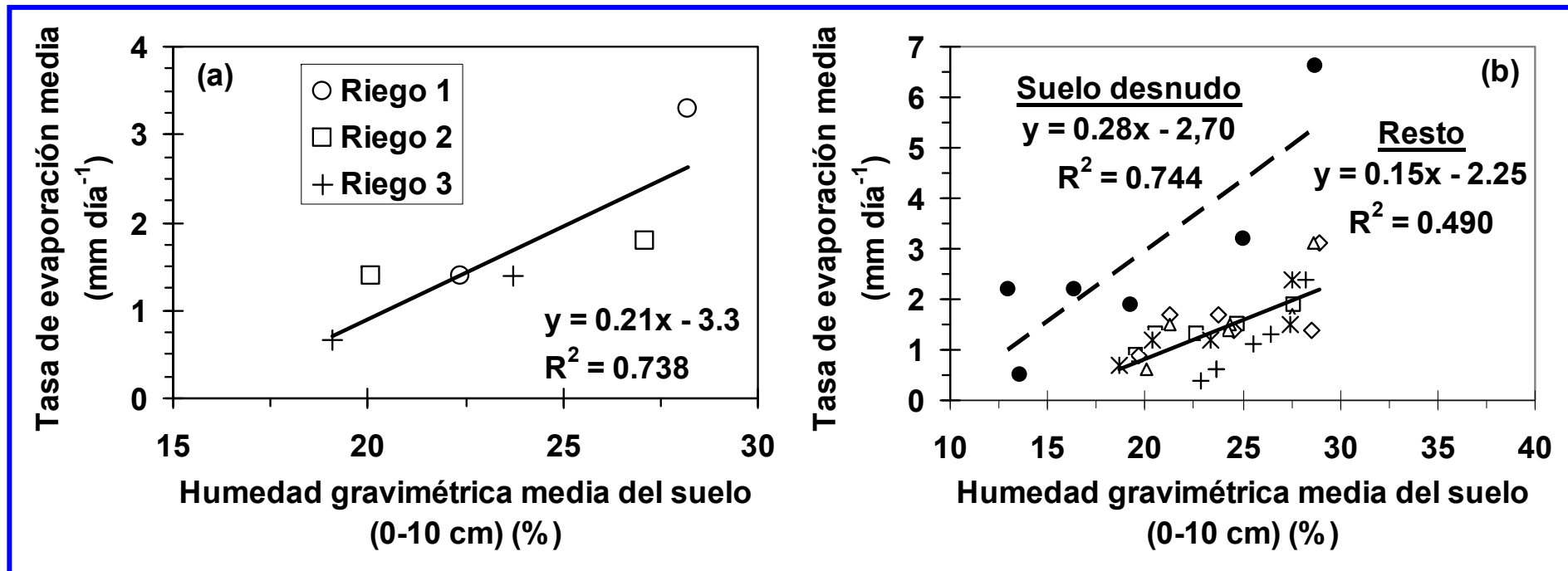


**P baja**



### 3. Disminuir ETc (Tc: transpiración de los cultivos+E: evaporación del agua del suelo)

#### - 3.3. Disminuir E manteniendo el suelo seco: riego por goteo enterrado?



W. Zribi, Tesis doctoral

**Finalizando con el tema original de este seminario...**

**Riego deficitario y salinización de suelos: ¿es sostenible bajo los distintos escenarios de cambio climático?**

- **Salinización = f (FL)**

$$FL = \frac{R + P - ET_c}{R + P}$$

- **¿Escenarios de CC para P y ET<sub>c</sub>?**

- **Se han revisado una docena de documentos acerca de escenarios de cambio climático en el valle (medio) del Ebro.**
- **Los recursos de agua se reducirán en un 20% a mitad de siglo XXI (CEDEX, 2012).**
- **En base a dos modelos de circulación general (CGCM2 y ECHAM4) y dos escenarios de emisión de gases de efecto invernadero (A2-bajo y B2-alto), P al final del siglo XXI puede descender entre el 20 y el 32%**
- **Escenarios seleccionados:**  
**P = 0%, -15%, -30%**

- El efecto del CC sobre la ETc es dudoso ya que hay efectos antagónicos que se compensan.
- Moratíel et al (2010): el Ebro tendrá a finales del siglo XXI los mayores incrementos de ETo de España (15-42% de la ETo actual en Caspe).
- Mayores ETo no implican necesariamente mayores ETc: E aumentará, pero Tc puede aumentar o disminuir dependiendo de la T<sup>a</sup>, CO<sub>2</sub>, cambios en fenología, fisiología, Kc, fotosíntesis, etc. etc. (Wang et al. 2012).
- Kimball et al (2002): variaciones de ETc entre el 6.2 y el -19.5% debido a incrementos en CO<sub>2</sub>.
- Escenarios seleccionados:

**ETc = -10%, 0%, 10%**

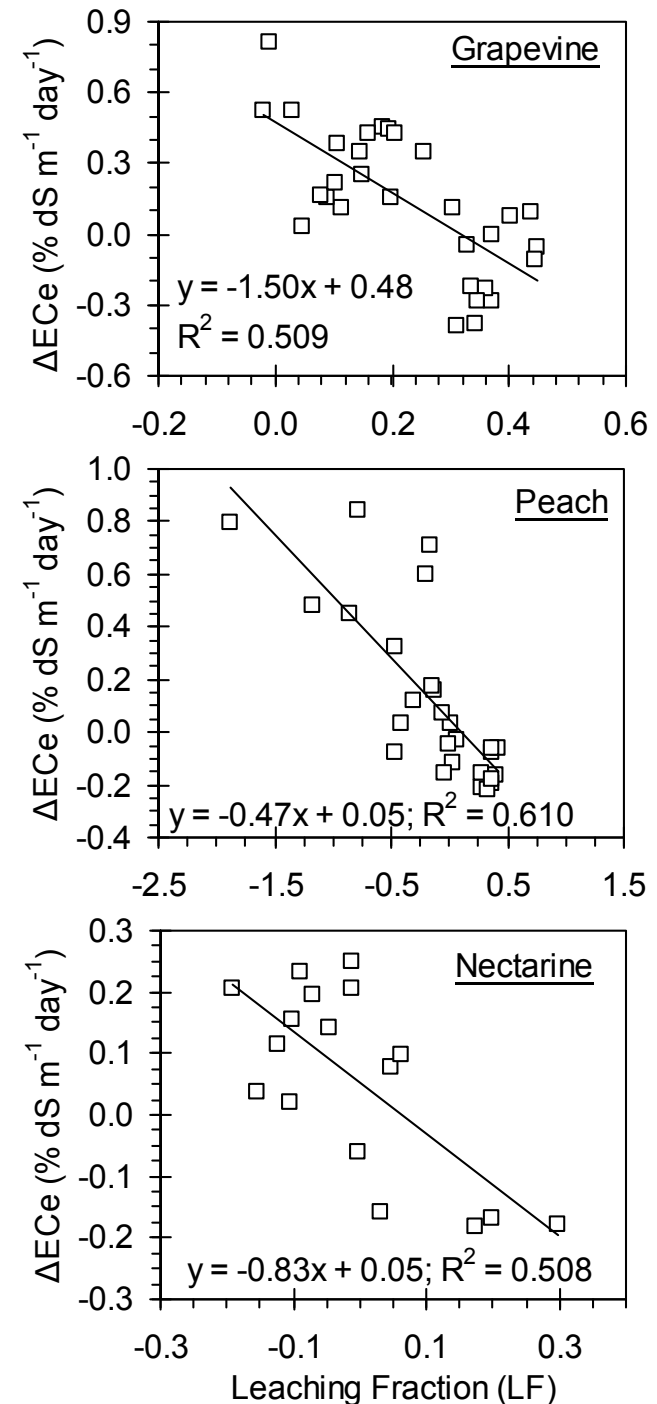


- **Seis escenarios analizados:**

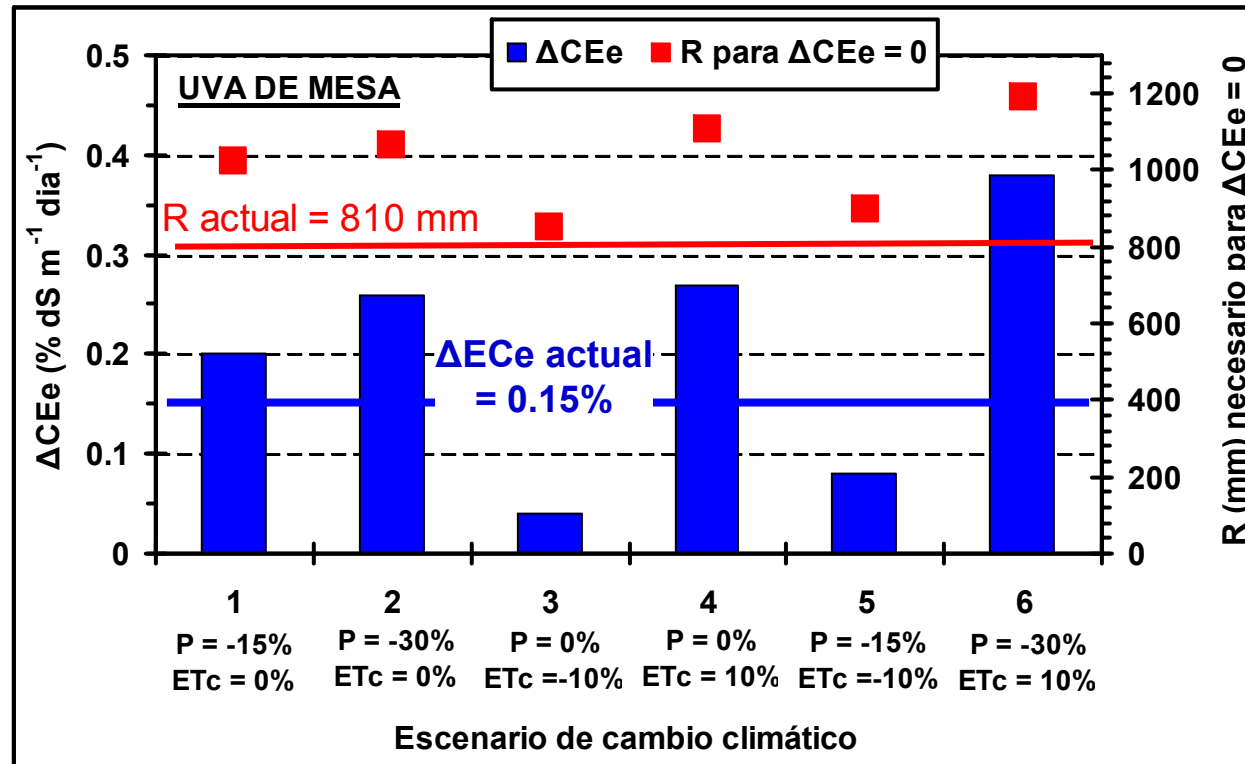
<b>Escenario CC</b>	<b>P</b>	<b>ETc</b>
<b>1</b>	<b>-15%</b>	<b>0%</b>
<b>2</b>	<b>-30%</b>	<b>0%</b>
<b>3</b>	<b>0%</b>	<b>-10%</b>
<b>4</b>	<b>0%</b>	<b>10%</b>
<b>5</b>	<b>-15%</b>	<b>-10%</b>
<b>6</b>	<b>-30%</b>	<b>10%</b>

- Resultados de salinización ( $\Delta\text{CEe} > 0$ ) o lavado ( $\Delta\text{CEe} < 0$ ) en uva de mesa, melocotón y nectarina utilizando las ecuaciones respectivas

$$\Delta\text{CEe} = a - b \text{ FL}$$

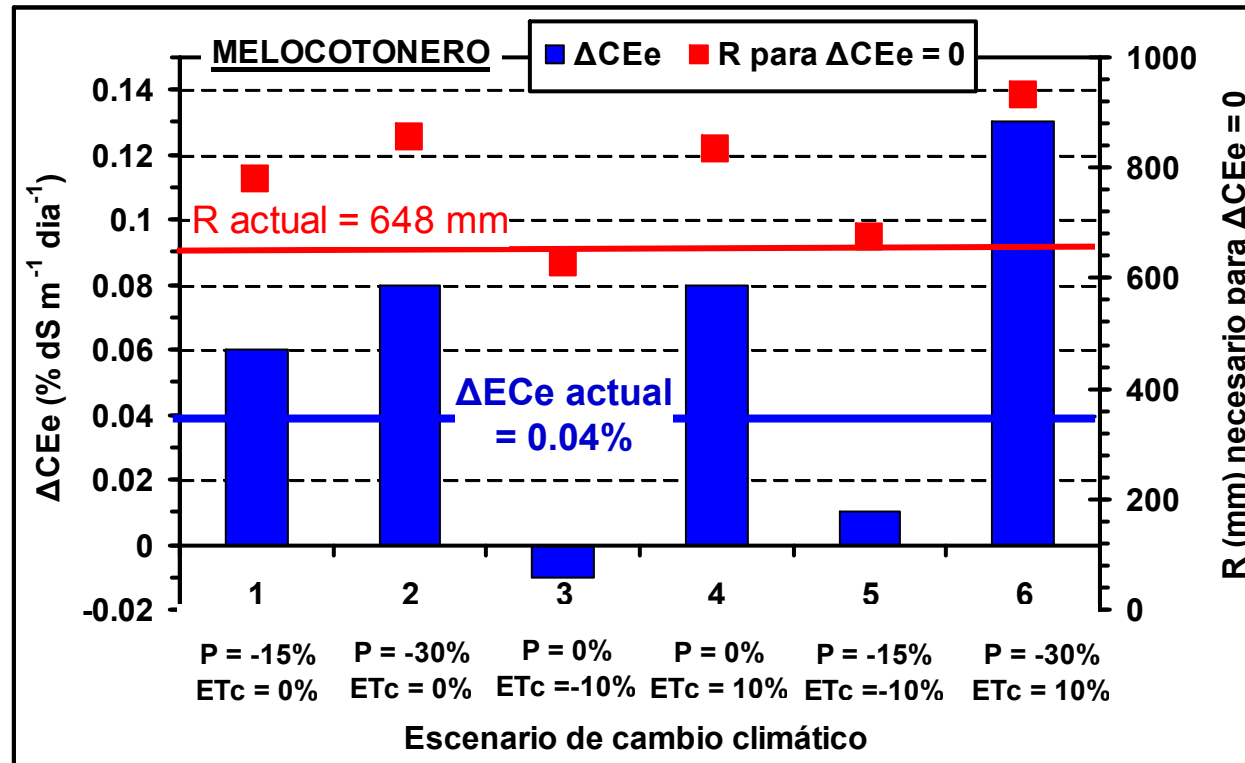


# Salinidad del suelo bajo distintos escenarios de cambio climático



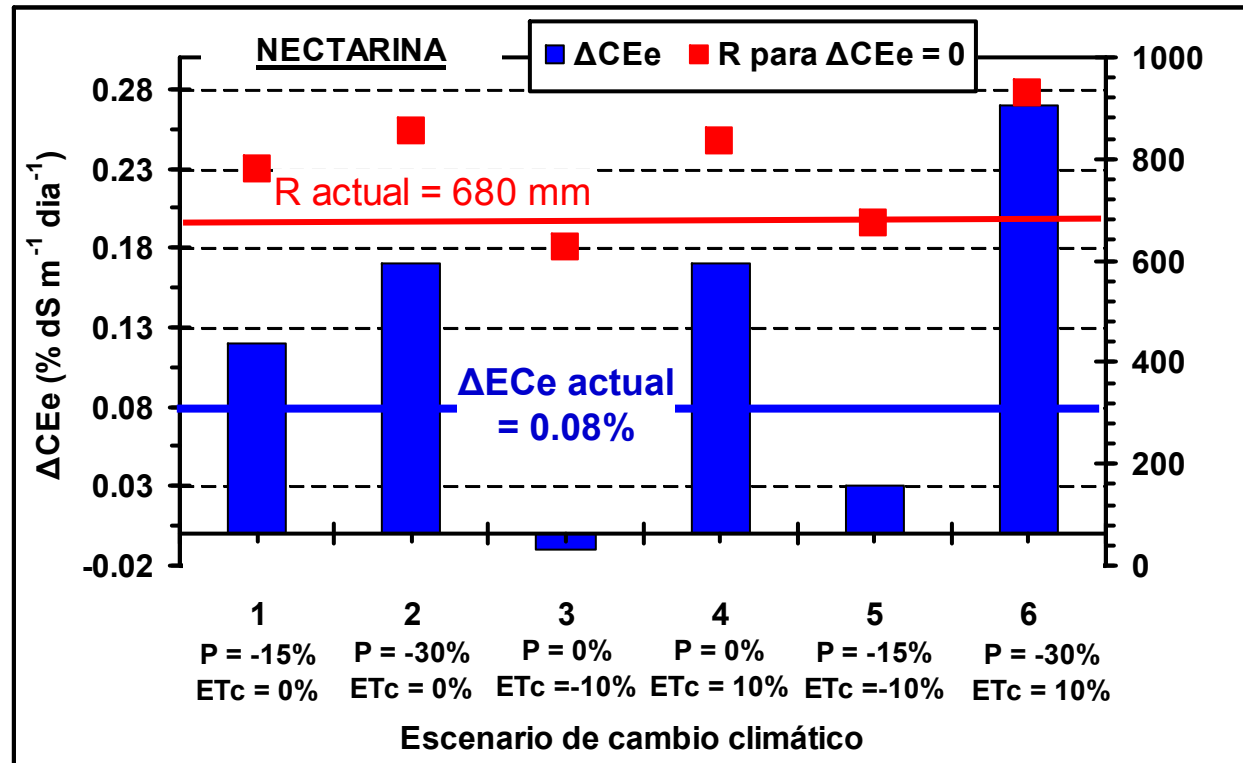
- Salinización del suelo ( $\Delta CE_e > 0$ ) bajo cualquier escenario
- R necesario para el control de salinidad ( $\Delta CE_e > 0$ ) mayor que R actual
- Mayor efecto de la  $ET_c$  que de la  $P$
- Riego deficitario incompatible con el control de salinidad

# Salinidad del suelo bajo distintos escenarios de cambio climático



- Salinización del suelo ( $\Delta CE_e > 0$ ) bajo cualquier escenario excepto el 3 ( $P = 0\%$ ,  $ET_c = -10\%$ )
- $R$  necesario para el control de salinidad ( $\Delta CE_e > 0$ ) mayor que  $R$  actual excepto en escenario 3
- Riego deficitario incompatible con el control de salinidad excepto en escenario 3

# Salinidad del suelo bajo distintos escenarios de cambio climático



- Salinización del suelo ( $\Delta\text{CEe} > 0$ ) bajo cualquier escenario excepto el 3 ( $P = 0\%$ ,  $\text{ETc} = -10\%$ )
- R necesario para el control de salinidad ( $\Delta\text{CEe} > 0$ ) mayor que R actual excepto en escenario 3
- Riego deficitario incompatible con el control de salinidad excepto en escenario 3

## **CONCLUSIONES GENERALES**

- **Todos los escenarios climáticos con descensos de lluvia y/o aumentos de evapotranspiración establecen tendencias de salinización de suelos en la zona de Caspe (Bajo Ebro Aragonés).**
- **La salinización/lavado de suelos es mucho más sensible a cambios de ETc que de P.**
- **Será necesario incrementar R y/o disminuir E (¿y Tc?) para aumentar FL de tal manera que  $\Delta CE_e \leq 0$ .**

## **CONCLUSIONES GENERALES**

- **El riego deficitario no podrá aplicarse en estas zonas semiáridas del valle medio del Ebro.**
- **La monitorización de la salinidad de aguas y suelos y las estrategias agronómicas para el control de la salinidad serán necesidades crecientes.**
- **El CC predice descensos en la cantidad y calidad de los recursos hídricos; la sostenibilidad de estos sistemas agrarios estará seriamente comprometida.**
- **La regulación de caudales será todavía mas necesaria en el futuro... y el trasvase de agua a otras cuencas será todavía mas cuestionable.**